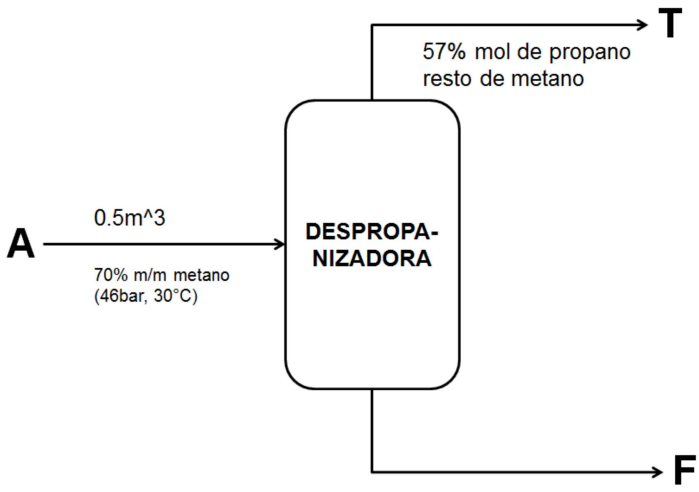
En una planta se tiene como objetivo recuperar los líquidos del gas natural. Parte del gas que llega a la torre se almacena en una tubería de 0,5 m^3 a una presión de 46 bar y 30ºC. Mediante un análisis se determinó su composición: 70 % m/m de metano y el resto de propano. Estos gases se llevan a una despropanizadora para recuperar gran parte del propano y luego condensarlo. La mezcla que sale por el tope de la torre en fase de vapor contiene 57 % molar de propano y el resto de metano. Por el fondo de la torre se obtiene un residuo recirculable.

Determine:

a) Masa de la mezcla que entra a la torre a través de la tubería.

b) Porcentaje de recobro de C_3H_8, si salieron 6800g de mezcla por el tope.

c) Composición másica del producto de fondo.



Para resolver la **PARTE A** tenemos que tener en cuenta nos dan un volumen de gas (mezcla gaseosa) y el volumen (en el caso de los gases) es totalmente equivalente a una cantidad de moles o masa. Para saber cuánta masa tenemos en la alimentación **A** tenemos que conocer las condiciones para lograr utilizar alguna de las ecuaciones de estado, en este caso, utilizaremos la ecuación de RK para dar una demostración de su uso para mezclas.

Primero, para utilizar cualquier ecuación de estado para mezclas, hay que utilizar fracciones molares, en **A** hay fracciones másicas, así que hay que realizar la conversión.

Las fracciones másicas pueden tratarse como masas si colocamos una base de cálculo de 100g, esto se hace por el siguiente motivo: Si tenemos 100g de una mezcla, y 70 % de ella es metano, 30 % necesariamente será propano, si esta relación se mantiene para la masa, entonces convertir las masas de metano

y propano a moles de metano y propano nos dará la relación de moles de los componentes de la mezcla:

	x_i	$x_i \cdot 100$ (g)	PM (g/mol)	n (mol)	y_i	P_c (atm)	T_c (K)
CH_4	0.7	70	16	4.375	0.86	45.8	190.66
C_3H_8	0.3	30	44	0.682	0.14	42.01	369.97
			$PM_{prom} = 19{,}92$	$n_t = 5{,}057$		$P_{sc} = 45{,}27$	$T_{sc} = 215{,}8$

Se hacen los cálculos de a y b de cada componente (los cálculos individuales se dejan al estudiante):

	y_i	a $(atm(\frac{cm^3}{mol})^2K^{1/2})$	b (cm^3/mol)
CH_4	0.86	31545002.4	29.60
C_3H_8	0.14	180389254	62.61
		$a_m = (\sum_{i=1}^{n=2} y_i\sqrt{a_i})^2 = 45030965{,}75$	$b_m = \sum_{i=1}^{n=2} y_i b_i = 34.22$

Con toda la información requerida, comenzaremos a iterar para encontrar un volumen molar en alimentación para luego encontrar el número de moles en esta.

Se calcula un primer valor, el volumen molar ideal a las condiciones de alimentación:

$$\bar{V}_0 = \frac{RT}{P} = \frac{82{,}057\frac{atm\cdot cm^3}{mol\cdot K}\cdot 303{,}15K}{45{,}4atm} = 547{,}9203\frac{cm^3}{mol}$$

Se obtiene el primer valor del volumen molar:

$$\bar{V}_1 = \frac{82{,}057\frac{atm\cdot cm^3}{mol\cdot K}\cdot 303{,}15K}{45{,}4atm + \frac{45030965{,}75atm(\frac{cm^3}{mol})^2K^{1/2}}{\sqrt{303{,}15K}\cdot 547{,}9203\frac{cm^3}{mol}(547{,}9203\frac{cm^3}{mol}+34{,}22\frac{cm^3}{mol})}} + 34{,}22\frac{cm^3}{mol} = 499{,}1107\frac{cm^3}{mol}$$

A continuación se presentan los valores iterados:

	i	$\bar{V}_i$	$\bar{V}_{i+1}$	Error %
0	547.9203	499.1107	9.77 %	
1	499.1107	485.5511	2.79 %	
2	485.5511	481.2373	0.90 %	

Se toma el valor $\bar{V}_3 = 481{,}2373\frac{cm^3}{mol}$. Ahora se procede a calcular el número de moles en **A**, es decir, la alimentación que entra a la torre a través de la tubería:

$$n_A = \frac{V_A}{\bar{V}_3} = \frac{500000cm^3}{481{,}2373\frac{cm^3}{mol}} = 1038{,}9885mol$$

Por último, se encuentra la masa de mezcla, para esto se utilizará el peso molecular promedio:

$$m_A = n_A \cdot PM_{prom} = 1038{,}9885mol \cdot \frac{19{,}92g}{1\,mol} = 20696{,}65g$$

Para la **PARTE B**, necesitamos saber la relación entre la masa de propano en tope **T** y la masa de propano en alimentación **A**, es decir, ¿qué porcentaje del propano entrante fue recuperado en tope? Vea la siguiente definición expresa qué es lo que buscamos:

$$\%R_{C_3H_8} = \frac{m_{C_3H_8,T}}{m_{C_3H_8,A}} \cdot 100\,\% \tag{4}$$

La masa de propano en alimentación, $m_{C_3H_8,A}$, la podemos conseguir fácilmente a partir del porcentaje masa/masa de propano en alimentación, pero, ¿y la masa de propano en tope $m_{C_3H_8,T}$? No es tan fácil, pues los porcentajes en tope se expresan en fracción molar.

Lo primero que viene a la cabeza es llevar esos 6800g en tope a moles a partir del peso promedio de la mezcla en tope que puede obtenerse de forma sencilla por regla de Kay a partir de las fracciones molares en **T**. Sin embargo, para ahorrarnos paso en la resolución de la **PARTE C** de este problema, procederemos convirtiendo las fracciones molares en **T** a fracciones masa de la siguiente forma:

	y_i	PM_i (g/mol)	$x_i = y_i \cdot \frac{PM_i}{PM_{prom}}$
CH_4	0.43	16	$0{,}43 \cdot \frac{16}{31{,}96} = 0.22$
C_3H_8	0.57	44	0.78
	$PM_{prom} = 31{,}96$		

Volvamos a la ecuación (4) y desarrollemosla:

$$\%R_{C_3H_8} = \frac{m_{C_3H_8,T}}{m_{C_3H_8,A}} \cdot 100\,\% = \frac{x_{C_3H_8,T} \cdot m_T}{x_{C_3H_8,A} \cdot m_A} \cdot 100\,\%$$

Donde $x_{C_3H_8,T}$ y $x_{C_3H_8,A}$ son las fracciones másicas para el metano en **T** y **A** respectivamente, y m_T y m_A las masas de gas para los flujos antes mencionados. Terminando el cálculo:

$$\%R_{C_3H_8} = \frac{0{,}78 \cdot 6800g}{0{,}3 \cdot 20696{,}65g} \cdot 100\,\% = \frac{5304g}{6207g} \cdot 100\,\% \approx 85{,}6\,\%$$

Finalizamos con la resolución de la **PARTE C**. Para esta parte hay que tener en cuenta que hay que seguir trabajando con los datos que se nos proporcionaron de la **PARTE B**.

Para conocer la composición del flujo de fondo **F** es necesario saber cuánta masa de propano y metano hay en **F**, o bien cuánta masa total hay en **F** y cuánto de alguno de los $n-1$ componentes hay en este flujo.

En este caso, resolveremos esta parte del segundo modo. Hagamos uso de la ley de conservación de la materia. La masa que entra en alimentación se divide en dos partes no iguales, una parte de fondo y otra parte de tope, ¿cómo se puede matematizar esta expresión? Sabiendo que la masa que entra debe ser exactamente igual a la que sale, entonces:

$$m_A = m_T + m_F$$

Donde los subíndices indican a qué flujo pertenece la masa. A partir de aquí es un despeje sencillo para encontrar la masa en fondo:

$$m_F = m_A - m_T = (20696{,}65 - 6800)g = 16896{,}65g$$

Ahora nos haría falta encontrar la masa en **F** de alguno de los componentes. En este caso, encontraremos la masa propano en **F**, la elección en este caso es arbitraria.

Piense en lo siguiente, así como la masa total que entra por alimentación al despropanizador se divide en una masa que va a fondo y otra que va a tope, ¿no podría pasar lo mismo con la parte de masa de propano que hay en **A**? Es decir, ¿no podría pasar lo siguiente?

$$m_{C_3H_8,A} = m_{C_3H_8,T} + m_{C_3H_8,F}$$

La parte de propano en **A** se ha dividido en una parte que va a **F** y otra que va a **T**. De aquí, necesitamos la masa de propano que va a **F** para conseguir todos los datos que necesitamos para encontrar la composición en masa del fondo:

$$m_{C_3H_8,F} = m_{C_3H_8,A} - m_{C_3H_8,T} = x_{C_3H_8,A} \cdot m_A - x_{C_3H_8,T} \cdot m_T$$

Si no se ha logrado entender a la primera, entienda que las fracciones en masa de los flujos **A** y **T**, multiplicados por la masa de sus respectivos flujos, da como resultado la masa del componente al que le pertenece esa fracción. Es decir, para $x_{C_3H_8,A} \cdot m_A$, estamos multiplicando la fracción masa de propano por la masa en **A**, y esto nos da la parte de propano contenida en m_A.

Si se entiende esto, entonces podemos estar de acuerdo en el siguiente resultado:

$$m_{C_3H_8,F} = x_{C_3H_8,A} \cdot m_A - x_{C_3H_8,T} \cdot m_T = 0{,}3 \cdot 20696{,}65g - 0{,}78 \cdot 6800g = 905g$$

Ahora podemos encontrar la composición del flujo de fondo:

$$x_{C_3H_8,F} = \frac{m_{C_3H_8,F}}{m_F} = \frac{905g}{16896{,}65g} = 0{,}05$$

Por diferencia se encuentra la otra fracción másica:

$$x_{CH_4,F} = 1 - x_{C_3H_8,F} = 0{,}95$$

Se dará un procedimiento alternativo para resolver las partes **B** Y **C** de este problema:

1 Iniciando en la **PARTE B**, no es necesario convertir la fracción molar a fracción masa, en cambio, encuentra el peso molecular promedio de la mezcla y convierta los 6800g a moles y luego encuentre la parte de moles que pertenecen al propano.

2 Utilice el peso molecular del propano para devolverlo a masa.

3 Calcule el porcentaje de recobro.

4 Busque la masa en fondo y de propano en fondo a partir de lo antes calculado.

5 Calcule el porcentaje másico de fondo.